

福山大学工学部紀要
第2号 1980年3月

地すべりの物理化学的予知と対策方法

富 田 武 満*

Physico-Chemical Prediction and Correction of Landslide

ABSTRACT

Tertiary type landslide is widely observed over the mountain regions in our company. In this paper, the physio-chemical properties of this kind of landslide are dealt with in the relation between the slip layer and the soil component. It is well known that the clay mineral whose main mineral is montmorillonite exists along the slip layer in the landslide. Tertiary type landslide is consisted of quartz, feldspar and montmorillonite as main components. The place of the slip layer is confirmed from the deformation pipes with strain gages. The results of quantitative estimations of soil components from the data of X-ray diffraction, cation exchange capacity, the analysis of X-ray fluorescence and the ignition loss reveal the characteristics properties of the tertiary type landslide.

1. 概 説

わが国は地質構成がきわめて複雑であり、地質年代の新しい岩質では固結度が低く、このような地盤の建設工事に際しては、その対策が極めて困難な事が多い。特に、第3紀層の泥岩や頁岩などは水にあうと吸水膨張をきたし、その支持力が著しく低下して種々の問題を引起している。各地にみられる第3紀層地すべりは、その不安定要因が構成している岩質の弱さに基づいているといっている¹⁾。このような地すべり地帯には、長年の自然営力と風化作用の受けやすさなどの地質的特性によって、地すべり発生の素因となる界面活性度の非常に高い粘土鉱物が、多量に形成されていることが知られている。さらに、すべり面付近に特徴的に見出される粘土は、すべり面粘土と称されており、数センチメートルという薄層であることが多く²⁾、通常の土質調査では看過されることもあるという問題点を有している。すべり面を含めて取扱うとき、ブロックサンプリングというような時間と費用の要する手段が必要である³⁾という指摘もされている。

ここでは、地すべり斜面構成土を物理化学的に考察することの有効性をとりまとめている。すなわち、構成鉱物組成を詳細に検討し、すべり面の実測結果と対応させ、すべり面における含有粘土鉱物の特徴を把握して、それに基づいてすべり面を表わしうる工学的パラメータを導入して、単純かつ迅速なすべり面予知の可能性を示している。さらに、あわせて物理化学的な手法による対策工法として、Kイオン固定法について簡単に示している。

なお、ここで取扱う地すべり予知は、あくまですべり面の決定のみであり、地すべりの発生時刻を決めうるものではない。

2. 当該地すべりの概要

ここで対象とした地すべりは、兵庫県宝塚市の西部、六甲山系の北側にあたる赤坂峠周辺のいわゆる第3紀層地すべりである。

地質は第3紀層の神戸層群を基盤とし、その上に段丘堆積崩壊土がのっている。また、神戸

層群の構成岩石は、泥岩、シルト岩、凝灰質砂岩が主体であり、一部に礫を含んでいる。

地すべりの直接的誘因は、道路の付換え計画に基づく斜面の堀削工事によるものである。当該地すべり地の平面は図-1のとおりであり、図-2に地すべり斜面の中央縦断面を示してい

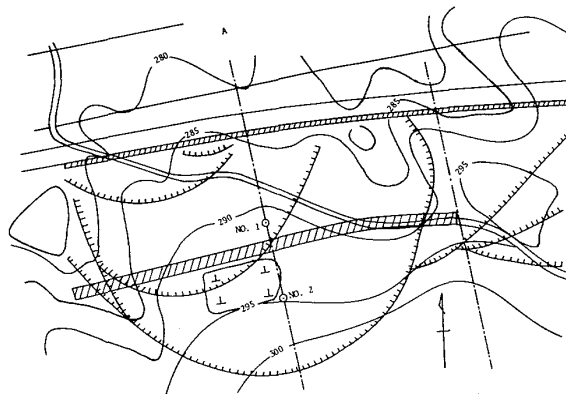


図-1 地すべり地平面図

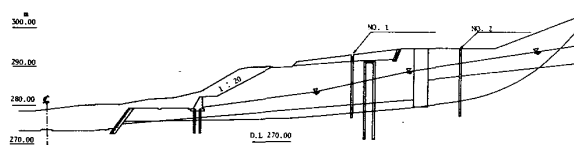


図-2 地すべり縦断面図

る。地すべりは図-1に示されている1次滑落崖からはじまり、山側の2次滑落崖へと進行しすべり速度は5~25 cm/日であり、変位量の累計は最大226 cmに達した。

すべり面の測定は、図-1中に示されているように、No.1とNo.2のボーリング孔中に設置された変位パイプのひびみ計によって、図-3、4のようなデータが得られている。すべり面は神戸層群中の風化泥岩と凝灰質砂岩との境界層に形成されていることが判明している。ボーリングNo.1では地表面下16 m前後、No.2では同じく18 m前後にすべり面が存在していることになる。

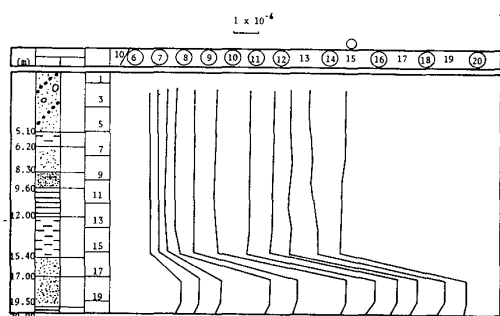


図-3 ひずみ柱状図 (No.1 ボーリング地点)

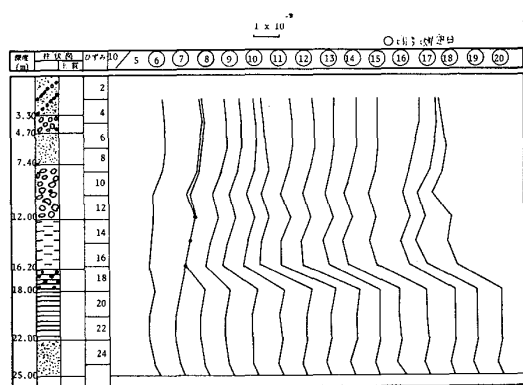


図-4 ひずみ柱状図 (No.2 ボーリング地点)

なお、地すべり斜面構成土の物理化学的特性の検討は、上記2地点で慎重に実施されたボーリング試料を用いて行った。

3. 地すべり斜面構成土の物理化学的特性⁴⁾

地すべり斜面構成土の物理化学的特性として構成鉱物の組成分布と界面イオン交換特性について検討した。まず試料についてはボーリングNo.1, No.2試料を20cmごとのスライスに区分して、自然乾燥させた後、試料粉碎器にて、50 μ m以下になるように粉碎調整したものを用いている。

3.1 構成鉱物組成

X線回析分析によって検討した。X線回析用試料は、あらかじめCa-飽和処理をほどこしたものをを用い、定方位法によっている。構成鉱物の定性分析の結果の一例は図-5のとおりであり、地すべり地が堆積層であるため各層により多少の差異があるものの、全体的に石英、長石、モンモリロナイトが主鉱物であることがわかる。また、No.1試料では、すべり面附近にアロフェンが存在することを赤外線吸収スペクトル分析によって推定できるが、これは凝灰質砂岩層における風化生成物である。

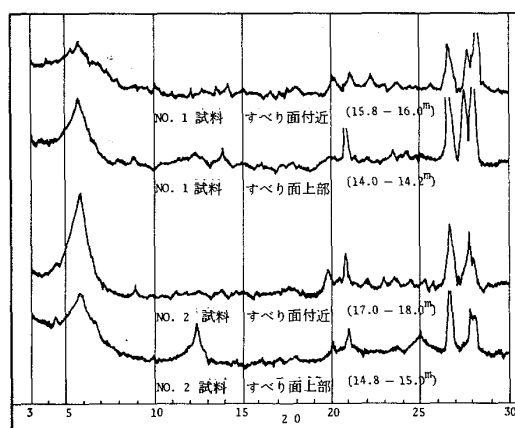


図-5 地すべり斜面構成土の入線回析の例

さらに、石英、長石、モンモリロナイトを主鉱物として定量分析を行うと以下のようなものである。これまでX線回析による定量分析には、多くの問題点を有し近似的な値しか得られないとされている。そこで精度の向上のため、上記3鉱物の標準試料を一定割合で混合したものから、直線性の高い検量線を作成し、それに基づくピーク値、ならびに積分値から定量を行っている⁵⁾。

結果は図-6, 7に示すとおりである。両ボーリング試料とも、すべり面付近でモンモリロナイトあるいはアロフェンが急増することから

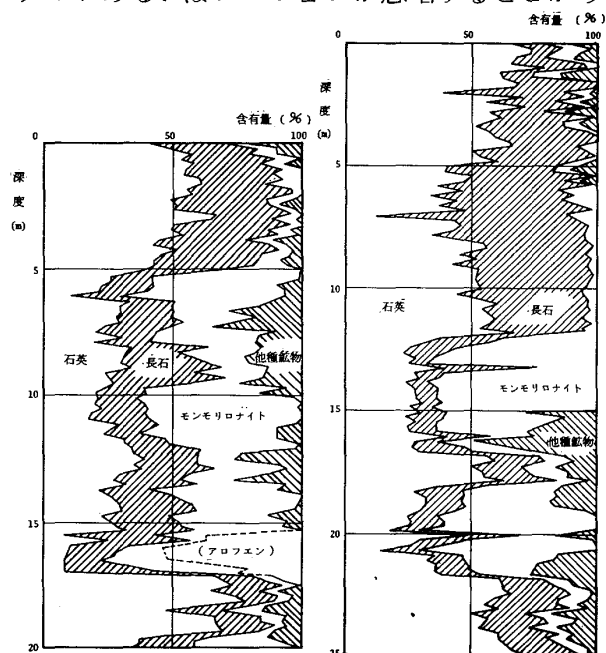


図-6 構成鉱物組成 (No.1 ボーリング) 図-7 構成鉱物組成 (No.2 ボーリング)

風化層がすべり面形成に寄与しており、また、この面を境にして層が変化していることがわかる。

3.2 イオン交換特性^{6) 7)}

対象土のイオン交換特性として、吸着カチオン量と塩基置換容量 (C.E.C.) の測定結果を示すと、図-8, 9である。測定には酢酸ア

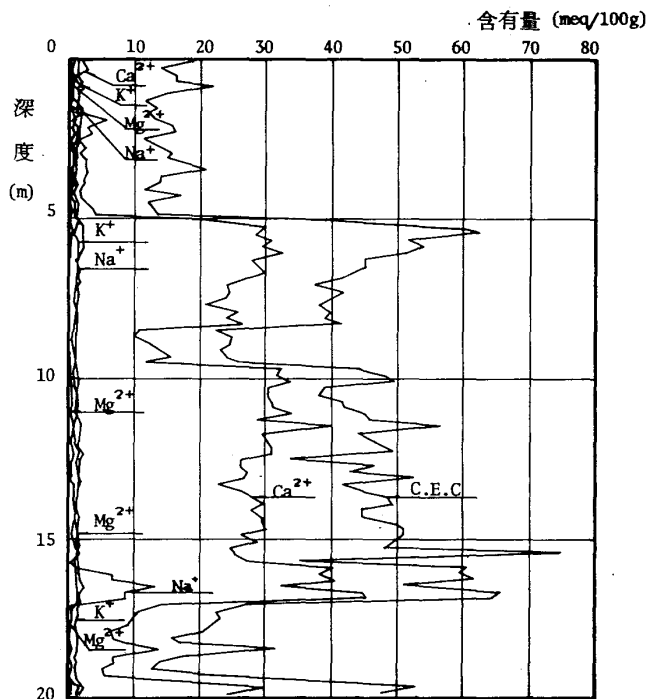


図-8 交換性カチオン量(№1ボーリング地点)

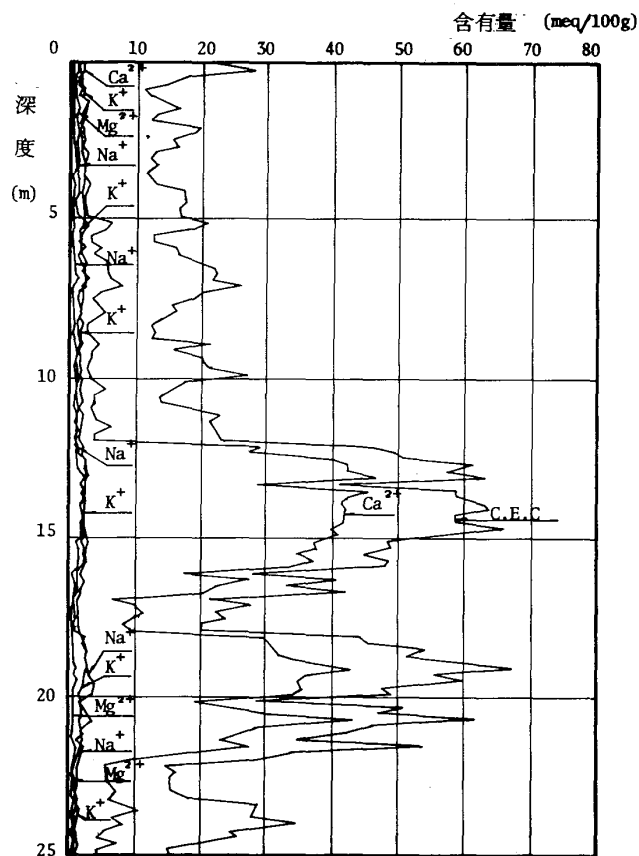


図-9 交換性カチオン量(№2ボーリング地点)

モンモリウム抽出液を原子吸光分析して決定している⁸⁾。図-8の№1試料のすべり面付近は、C.E.C.値が60m.e.q./100gと最高値を示し、界面活性が高く工学的強度に劣るアロフェンに基づくものであることが、3.1の結果をもとにして認めることができる。また、吸着Naイオンの増加がみられており、風化の進行程度が高いことが知られる。図-9の№2試料ではすべり面直上のC.E.C.値が30m.e.q./100gと低いのに比べ、すべり面で60m.e.q./100g前後の高い値を示しており、含有するモンモリロナイトに起因するものである。

なお、モンモリロナイトならびにアロフェンのC.E.C.値を単体では100m.e.q./100gと仮定し、測定C.E.C.値は地盤中に含まれるこれら鉱物のみに基づいたものとして、モンモリロナイト、アロフェンの含有量を逆算すると図-10, 11のようになる。図にはX線回折分析による定量値を併記しているが、層による多少のバラツキを有するものの両者は非常によ

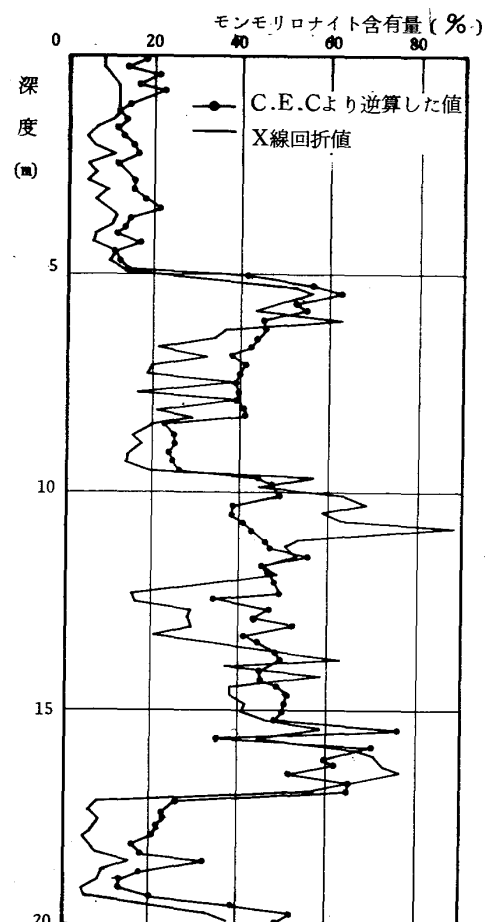


図-10 CEC値から逆算されたモンモリロナイト含有量(№1ボーリング地点)

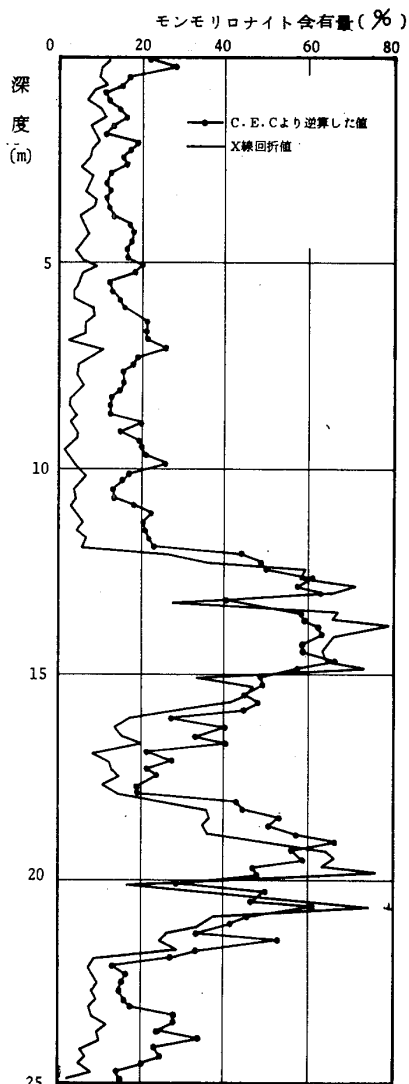


図-11 CEC値から逆算されたモンモリロナイト含有量(No.2ボーリング地点)

い一致をみており、C.E.C.値でもモンモリロナイト等の活性粘土鉱物量の推定がある程度可能であることがわかる。

4. 構成成分とノルム計算結果⁹⁾

対象土の化学成分については、蛍光X線分析によって定量を行っている。試料はセルローズパウダー希釈法でブリケット(10tの加圧成形)供試体を作成し¹⁰⁾実験に供している。

結果の一例を表-1に示している。構成化学成分として、 CaO 、 K_2O 、 TiO_2 、 Fe_2O_3 の各スライス区分ごとの含有量変化は図-12、13に例示している。図-12でNo.1試料のすべり面付近における CaO の急増と K_2O の急減は他の層にみられない傾向であり、凝灰質砂岩

が原因しているものと考えられる。図-13はNo.2試料の重金属元素の含有量変化を示している。重金属の Fe_2O_3 、 TiO_2 、およびpH5~8では不溶性の Al_2O_3 は絶対量にほとんど変化が生じないため、他の成分の溶脱の激しい風化層ほど相対的含有率は増加を示すことになる。礫<砂岩層<シルト岩層<泥岩層と風化が進行していることがわかる。

表-1 No.1ボーリング試料の化学分析例

	Si	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Ti	H ₂ O	Total
3.0-3.2 ^m	72.74	14.41	0.91	6.83	0.01	0.59	1.72	0.11	2.61	98.93
3.2-3.4	74.67	13.21	0.94	4.50	0.10	0.44	2.35	0.10	2.33	98.64
3.4-3.6	74.80	13.94	0.84	5.33	0.10	0.44	2.40	0.11	2.65	100.61
3.6-3.8	75.22	13.70	0.96	4.08	0.09	0.37	2.25	0.09	2.43	99.19
3.8-4.0	75.93	13.89	0.92	4.65	0.02	0.37	1.80	0.13	2.48	100.19
4.0-4.2	75.07	12.89	0.88	4.41	0.02	0.46	1.77	0.08	2.10	97.68
4.2-4.4	75.07	12.05	0.91	4.09	0.13	0.34	1.92	0.07	1.65	96.23
4.4-4.6	76.10	11.49	0.89	4.64	0.12	0.34	1.99	0.09	1.43	97.09
4.6-4.8	73.88	12.66	0.97	4.52	0.11	0.38	1.98	0.09	1.96	96.55
4.8-5.0	73.46	12.64	0.94	3.75	0.17	0.35	1.90	0.07	1.51	94.89
5.0-5.2	66.80	14.99	1.18	2.74	0.94	0.39	4.78	0.37	4.99	97.18
5.2-5.4	63.89	14.68	1.24	2.52	0.97	0.53	6.53	0.47	4.46	95.29
5.4-5.6	62.37	15.81	1.27	2.28	1.04	0.42	5.87	0.49	5.85	95.40
5.6-5.8	63.17	14.49	1.26	2.31	0.96	0.52	6.17	0.50	6.40	95.78
5.8-6.0	60.07	14.75	1.55	2.43	0.93	0.57	7.20	0.49	0.11	94.10
6.0-6.2	64.65	14.82	1.19	2.25	0.97	0.43	4.52	0.45	6.17	95.45
6.2-6.4	62.05	13.58	1.20	2.29	0.99	0.63	4.76	0.42	9.40	94.98
6.4-6.6	64.07	14.82	1.16	2.49	1.01	0.62	3.89	0.45	4.83	93.34
6.6-6.8	65.48	14.28	1.09	2.55	0.99	0.63	3.71	0.41	5.17	94.31
6.8-7.0	64.59	14.74	1.09	2.58	0.94	0.59	3.67	0.39	4.72	91.31
7.0-7.2	65.45	14.66	1.13	2.71	0.98	0.56	2.80	0.38	4.09	92.76
7.2-7.4	64.60	14.76	1.11	2.73	0.96	0.66	3.15	0.39	4.42	92.78
7.4-7.6	64.91	15.17	1.03	2.39	0.96	0.41	2.92	0.37	4.08	92.24
7.6-7.8	67.40	14.69	1.10	3.00	1.04	0.67	3.08	0.43	4.23	96.11
7.8-8.0	65.45	14.82	1.08	2.54	1.02	0.57	3.35	0.42	4.54	93.79
8.0-8.2	65.99	15.03	0.92	2.65	1.08	0.57	3.37	0.48	4.61	94.70
8.2-8.4	68.24	13.39	1.16	2.86	1.10	0.63	3.38	0.43	4.90	96.09
8.4-8.6	68.76	13.81	0.88	3.35	1.10	0.56	3.40	0.39	4.89	97.14
8.6-8.8	69.28	11.68	0.84	3.60	1.08	0.65	2.46	0.34	3.19	93.11
8.8-9.0	67.58	12.72	0.91	3.40	1.08	0.58	2.42	0.36	3.42	92.47
9.0-9.2	70.63	11.60	0.83	3.69	1.07	0.61	2.85	0.33	2.92	94.53
9.2-9.4	72.11	12.47	0.91	3.72	1.06	0.57	3.24	0.33	2.97	97.38
9.4-9.6	69.24	12.32	0.88	3.45	1.08	0.67	2.35	0.35	3.19	93.53
9.6-9.8	65.79	14.81	0.93	2.50	1.09	0.60	3.46	0.47	5.02	94.12
9.8-10.0	64.84	14.22	1.04	2.22	1.12	0.59	3.87	0.47	5.47	93.84

表-1(2)

	Si	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Ti	H ₂ O	Total
10.0-10.2 ^m	62.46	15.02	1.02	2.99	1.26	0.54	4.29	0.33	5.45	92.36
10.2-10.4	62.15	15.96	1.12	2.19	1.21	0.64	4.28	0.49	4.83	92.87
10.4-10.6	63.33	15.24	1.05	2.48	1.18	0.62	4.34	0.49	5.70	94.44
10.6-10.8	62.04	15.90	0.98	2.22	1.16	0.56	4.65	0.49	4.86	92.86
10.8-11.0	62.37	15.43	1.32	1.69	1.20	0.53	5.97	0.49	5.19	94.19
11.0-11.2	62.62	17.45	1.18	3.25	1.07	0.85	4.85	0.53	6.42	98.22
11.2-11.4	65.34	15.46	1.20	3.15	1.04	0.72	4.75	0.50	6.12	98.29
11.4-11.6	61.90	15.22	1.34	2.56	1.27	0.82	5.54	0.62	6.59	95.85
11.6-11.8	62.16	15.03	1.26	3.52	1.02	0.66	5.34	0.51	6.30	95.80
11.8-12.0	64.96	15.43	1.22	3.29	1.04	0.70	5.80	0.49	6.28	99.21
12.0-12.2	64.15	14.30	1.21	2.72	0.86	0.47	5.72	0.43	5.87	95.73
12.2-12.4	64.1	14.67	1.38	3.44	1.03	0.75	6.41	0.46	6.80	99.04
12.4-12.6	63.13	14.91	1.31	3.35	0.88	0.73	6.05	0.46	5.31	96.13
12.6-12.8	64.58	14.89	1.33	3.00	0.86	0.76	5.78	0.46	5.70	97.36
12.8-13.0	63.28	14.57	1.19	3.67	0.98	0.67	5.37	0.48	4.78	93.99
13.0-13.2	66.09	14.25	1.31	3.64	0.98	0.86	5.64	0.44	5.18	98.39
13.2-13.4	63.29	14.61	1.22	3.75	0.90	0.69	5.79	0.47	5.40	96.12
13.4-13.6	63.39	14.85	1.32	3.33	0.58	0.87	5.88	0.48	5.17	96.14
13.6-13.8	61.44	14.29	1.27	3.16	1.15	0.81	6.11	0.48	4.84	93.55
13.8-14.0	64.62	14.64	1.33	2.92	1.16	0.78	6.05	0.47	5.09	97.06
14.0-14.2	64.89	16.72	1.29	2.97	1.13	0.77	5.13	0.47	4.74	98.11
14.2-14.4	63.70	18.12	1.33	3.21	1.16	0.77	5.70	0.46	4.80	99.25
14.4-14.6	62.08	17.51	1.29	3.14	1.08	0.88	5.19	0.44	5.01	96.62
14.6-14.8	64.44	16.92	1.28	3.06	1.11	0.75	4.96	0.45	4.89	97.85
14.8-15.0	60.00	18.29	1.27	3.24	1.11	0.81	4.98	0.48	5.26	95.44
15.0-15.2	62.42	18.34	1.36	3.31	0.95	0.82	5.30	0.44	5.74	98.68
15.2-15.4	64.25	17.51	1.28	3.29	1.09	0.83	4.83	0.45	4.60	98.13
15.4-15.6	60.33	19.83	1.10	0.51	2.50	0.82	3.39	0.16	5.48	94.12
15.6-15.8	73.86	14.43	1.02	2.36	1.31	0.61	2.77	0.27	4.07	100.70
15.8-16.0	71.85	14.46	1.11	1.02	1.88	0.67	3.50	0.18	4.49	99.16
16.0-16.2	70.04	15.60	1.07	0.99	2.05	0.70	3.04	0.17	4.93	98.59
16.2-16.4	71.89	15.92	1.08	0.78	2.08	0.89	2.94	0.18	5.06	100.82
16.4-16.6	69.52	15.49	0.88	0.70	1.79	0.51	1.55	0.16	5.17	95.77
16.6-16.8	70.78	17.17	1.12	0.32	2.47	0.86	2.61	0.18	4.79	100.30
16.8-17.0	71.12	15.70	1.11	0.70	2.05	0.70	2.63	0.16	5.52	99.69

表-1(3)

	Si	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Ti	H ₂ O	Total
17.0-17.2	78.51	11.54	0.86	3.32	0.44	0.49	1.15	0.18	2.67	99.16
17.2-17.4	81.12	9.71	0.94	3.87	0.31	0.47	1.07	0.16	2.34	100.07
17.4-17.6	80.82	9.81	0.88	3.57	0.26	0.39	1.12	0.13	2.29	99.07
17.6-17.8	90.18	9.63	0.82	3.51	0.25	0.39	1.01	0.11	1.88	97.58
17.8-18.0	82.00	10.13	0.83	3.63	0.07	0.38	0.71	0.14	1.79	99.68
18.0-18.2	81.62	10.07	0.83	3.71	0.16	0.33	0.76	0.15	1.69	99.32
18.2-18.4	80.14	10.42	0.82	3.51	0.21	0.36	0.93	0.16	2.05	98.60
18.4-18.6	74.08	13.89	0.98	3.42	0.58	0.49	2.53	0.22	3.69	99.83
18.6-18.8	78.76	11.45	0.82	3.49	0.20	0.49	0.84	0.17	2.19	98.41
18.8-19.0	76.21	11.82	0.79	3.69	0.19	0.38	0.81	0.15	3.33	97.37
19.0-19.2	79.05	11.27	0.77	4.00	0.11	0.28	0.78	0.13	1.85	98.28
19.2-19.4	79.87	12.33	0.88	3.78	0.11	0.40	1.05	0.10	1.80	100.32
19.4-19.6	72.10	14.58	1.05	3.53	0.57	0.54	2.94	0.22	3.63	99.16
19.6-19.8	65.76	17.16	1.25	3.44	0.92	0.63	4.61	0.33	6.44	100.54
19.8-20.0	60.21	17.18	1.31	3.31	1.10	0.69	5.21	0.61	4.58	94.20

Si=SiO₂ Al=Al₂O₃ Na=Na₂O K=K₂O Ca=CaO Mg=MgO Fe=Fe₂O₃ Ti=TiO₂

さて、化学組成の重量パーセントからモル数を計算し、各鉱物示性式にそって元素を組合せ構成鉱物の含有量を求める計算をノルム計算という。さきのX線回析結果から、ここでの第3紀層地すべりの斜面構成鉱物が、石英、長石、モンモリロナイトを主成分としているので、これに従って表-1の結果からノルム計算を行った。各鉱物の示性式はつぎのとおりとする。

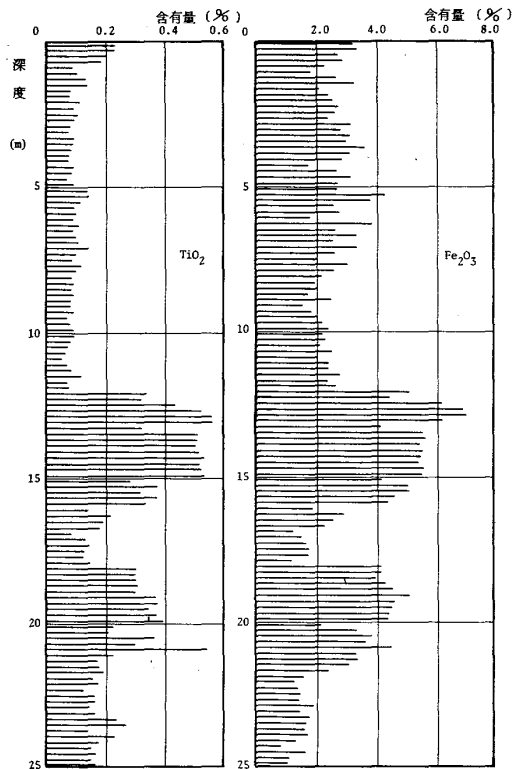


図-13 構成化学成分変化(No2 ボーリング試料)

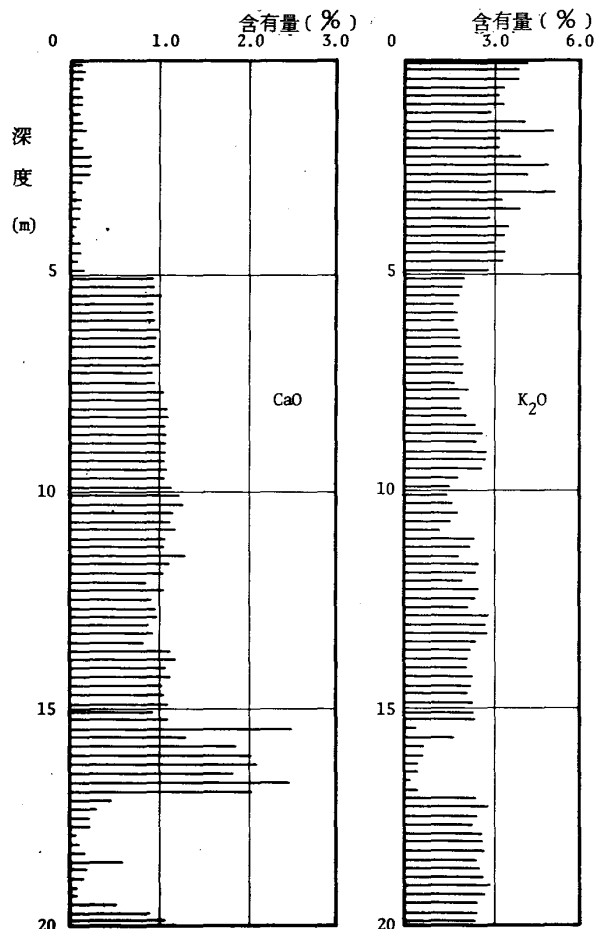


図-12 構成化学成分変化(No1 ボーリング試料)

灰長石 ; $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
 ソウ長石 ; $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
 カリ長石 ; $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
 石英 ; SiO_2

モンモリロナイト ; $\text{X} \cdot \text{Al}_2.33 \text{Si}_{3.67} \text{O}_{10}(\text{OH})_2$
 (ここでは置換性陽イオンXを無視する)

また、計算の過程において採用した仮定は以下のとおりである。

- (1) モル数 0.002以下のものは無視する。
- (2) CaO , Al_2O_3 , SiO_2 を灰長石に配分する。
- (3) Na_2O と残りの Al_2O_3 , SiO_2 をソウ長石に配分する。
- (4) K_2O と残りの Al_2O_3 , SiO_2 をカリ長石に配分する。
- (5) 残りの Al_2O_3 , SiO_2 をモンモリロナイトに配分する。
- (6) 残った SiO_2 を石英とする。

結果は図-14, 15のとおりである。長石が30%前後で一定した値をとり、シルト岩、泥岩層の風化で減少がみられないのは、粘土鉱

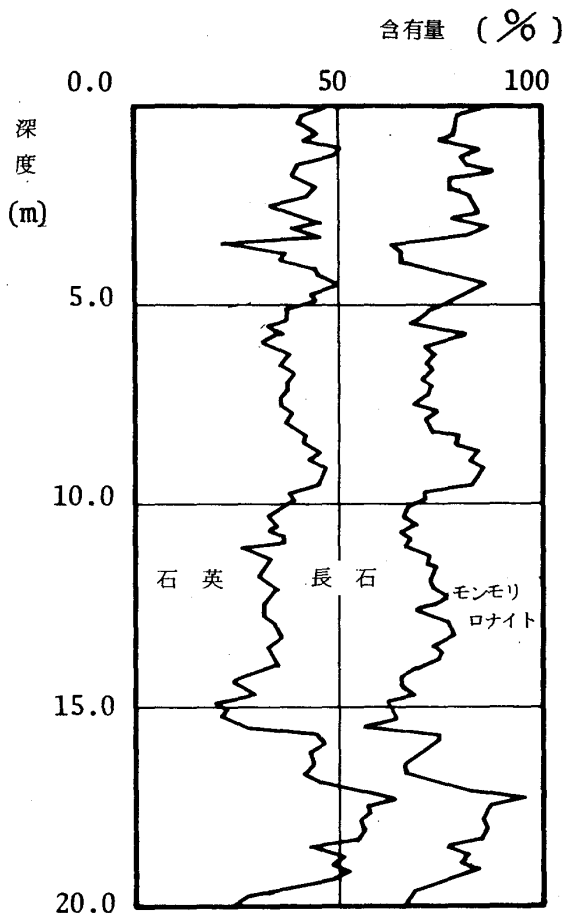


図-14 ノルム計算結果
(No.1 ボーリング地点)

物に存在する CaO , Na_2O をすべて長石に配分したためである。また、モンモリロナイトの部分には他の粘土鉱物（イライト、カオリナイトなど）が一括して含まれている。以上のようなノルム計算結果は、3 鉱物の定量的評価に問題を残すものの、その変化図における石英、モンモリロナイトは各層の風化傾向を定性的に表現しており、シルト岩、泥岩層でのモンモリロナイトの増加、礫、砂岩層での石英の増加を示している。

また、すべり面付近では、No.1 試料でシルト岩から凝灰質砂岩層にかけて石英、モンモリロナイトの増加、長石の減少がみられるが、X線回析定性分析から凝灰質砂岩層に石英はほとんど存在しなく、石英に配分した SiO_2 がアロフェンなどの非晶質（ $1 \sim 2 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）に由来しているためである。さらに地層の境界面付近に含有成分の異常がみられ、

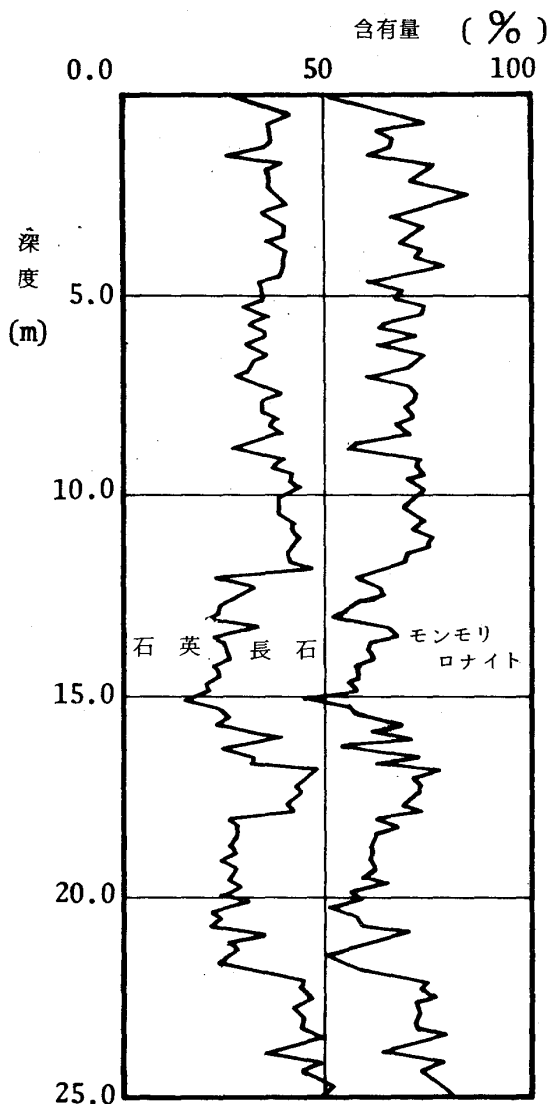


図-15 ノルム計算結果
(No.2 ボーリング地点)

そこにすべり面が形成されている可能性が高い。

このようなノルム計算結果と、さきに述べたX線回析による定量結果とは必ずしも同一結果を与えるものではないが、両者を併用して比較検討することが構成鉱物の合理的判定につながるものである。

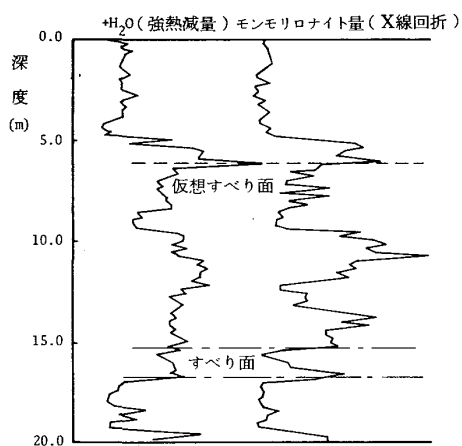
5. すべり面の予知¹¹⁾

これまで述べてきたように、地すべり粘土としてモンモリロナイト系粘土鉱物を指摘することができ、この存在をあらかじめ決定することができれば、第3紀層地すべり地での地すべり対策が容易になる。ところが、地すべり粘土の把握のためには、物理化学的測定に非常な時間

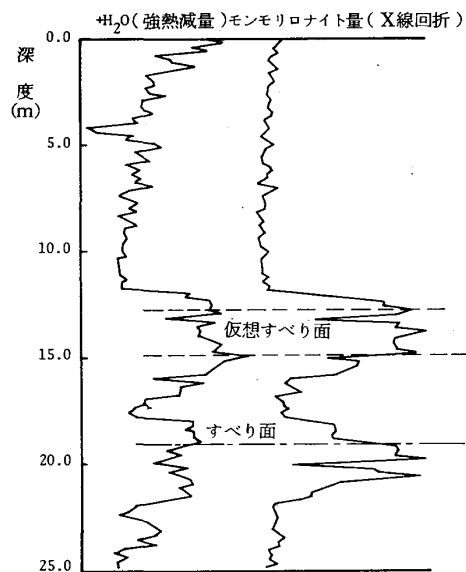
と技術とを要する。そのため、すべり面の予知としては、簡便な方法でかつ試料としてもわづかの量で可能なパラメータの設定が要求されている。これまで、地すべり斜面構成土の特性の検討から、コンシステンシーでは地すべり粘土の特徴を十分に示しえないこと、そのため比表面積の変化が1つのパラメータとなりうるという報告¹²⁾がみられている。しかしながら、比表面積は必ずしも一般的な手法でないため、ここでは強熱減量法の採用を提言するものである。

強熱減量は周知のごとく、土試料中の水分と有機物質とが、蒸発ならびに燃焼することによる減量であり、表層土や泥炭などの有機質土中の有機物含有量の測定に用いられている。

地すべり斜面構成土は、表層部以外には有機物をほとんど含まないから、強熱減量とは試料中の水分量のことになる。ところで、粘土鉱物の保持する水分は、いわゆる110℃までの炉乾燥で除去されない吸着水、層間水および構造水などを含んでいる。この含有量は鉱物の種類によって大きく変化しており、一次鉱物よりは粘土鉱物の方が大であり、さらに活性粘土鉱物であるモンモリロナイトでは一層大きくなる。吸着水、層間水は300℃程度までで放出され、500～800℃でOHとして鉱物の結晶中に存在していた構造水が放出される。これらに基づく試料重量の減少量を強熱減量として検討したものである。



図—16 強熱減量値の変化とすべり面の推定 (No.1 ボーリング地点)



図—17 強熱減量値の変化とすべり面の推定 (No.2 ボーリング地点)

試料はさきと同様に、20 cmごとのスライス区分したものを試験に供した。X線回析分析から求めたモンモリロナイト定量図とともに示すと図—16、17のようになる。強熱減量の変化状況はモンモリロナイト含有量の変化ときわめてよい一致がえられている。また、ひづみ計でえられたすべり面位置を一点鎖線であわせ記しているが、強熱減量がすべり面推定の1つの有力なパラメーターとなり得ることを表わしている。図中には仮想すべり面として、破線のような部分に危険部位がみられることを示している。

さきに示したように、強熱減量法はきわめて単純な手法で求めうる値であることから、地すべりの予知のため今後有効に利用し得るパラメーターである。

6. 地すべり粘土の物理化学的対策方法^{13) 14)}

前述のごとく、地すべり粘土としては工学的強度の低く、かつ、大きい膨潤特性をもつモンモリロナイト系粘土鉱物が介在していることが明らかである。一方、著者は、これまで膨潤性粘土鉱物の工学的特性を物理化学的に改良するための方策として、Kイオンをモンモリロナイトに導入するカリウム固定法について検討し、その効果を明らかにしてきた¹⁵⁾。そこで、ここ

では地すべり粘土の工学的特性のうち、特に膨潤性を取扱い、カリウム処理土の固定特性とあわせて述べるものである。

なお、土中へのKイオンの固定については、農学の分野で以前から、施肥されたKイオンの有効利用という立場から多くの取組みが行なわれており、ここで用いるKイオンの固定は全く逆の応用性を求めることになる。

6.1 試料ならびに実験条件

地すべり粘土の改良という目的からは、原土として地すべり粘土そのものを採取すべきであるが、これを大量に入手することは事実上困難であるため、地すべり粘土の主成分がモンモリロナイトであることを考慮して、ここでは便宜的に工業用の豊順ベントナイトを用いた。原土の工学的および界面化学的特性は表-2、3のようである。

カリウム処理の場合の添加量は、原土のC.E.C.が50m.e.q./100gであることから、Kイオン量に換算して25, 37.5, 50, 75, 100m.e.q./100gとした。

表-2 原土の工学的性質

L.L.(%)	200.0
P.L.(%)	39.7
P.I.(%)	160.3
土粒子比重	2.598

表-3 原土の物理化学的性質

C.E.C. (meq/100g)	交換性カチオン量 (meq/100g)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
50.0	13.7	4.6	18.0	4.7

実験は各添加量における固定量の比較、コンシステンシーの変化、また、モンモリロナイトの最大の工学的弱点である膨潤性に及ぼす抑制効果について検討を行った。

Kイオンの固定量とは、添加カリウム量から遊離カリウム量及び吸着カリウム量を差引いた

ものである。膨潤性の検討にはいろいろな方法が提案されているが、未だ統一した試験法はない。ここでは圧密-除荷によるリバウンド特性の比較及び溶液中における自然膨潤量の比較を行なった。リバウンドの測定は初期含水比を液性限界付近に調整した試料を12.8kg/cm²まで標準圧密した後、荷重除荷率 $\Delta P/P = -1$ で1段階24時間、段階ごとに除荷してこの時の膨潤量を測定した。膨潤指数 C_s は除荷曲線における当該荷重点での接線の傾きとした。自然膨潤量は80ccの溶液中に2分ごとに20mgずつ合計3gの試料を投入し、その後の試料体積の変化を求めた。溶液には塩化ナトリウム $10^{-2}N$ 、 $10^{-3}N$ 、及び蒸留水を使用した。

6.2 実験の結果と考察

Kイオンの添加量と固定量との関係は図-18のとおりである。添加量の約25~30%が固定されているが、固定量は本質的に全C.E.C.量とイオン平衡に依存しているから、飽和値は存在し、それが最適添加量となる。この値は原土のC.E.C.付近であることはすでに発表したものにある¹⁵⁾。

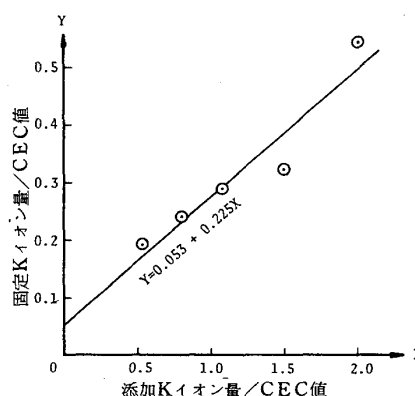


図-18 添加量と固定量の関係

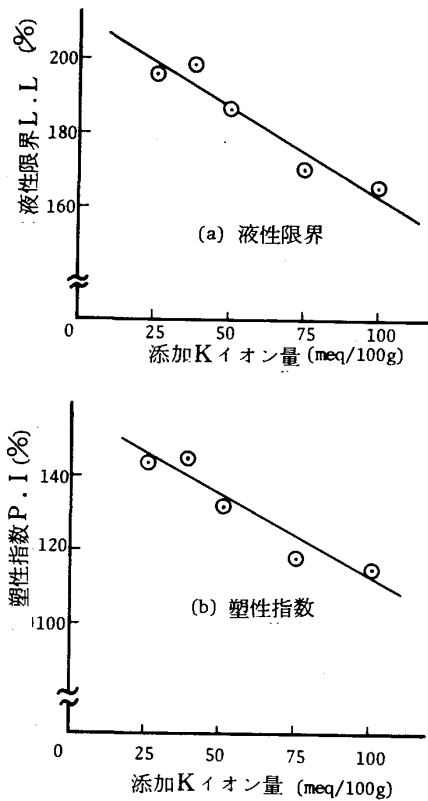


図-19 Kイオン処理による
コンシステンシーの変化

コンシステンシーの変化は図-19のとおりである。処理によって、L.L., P.I.ともに減少しているが、これはKイオンが層間に固定されたことにより粘土粒子の活性が低下したことと吸着Kイオンにより粘土粒子間の電位が低下し粒子間の反発力が弱まってペッド化をきたし、見掛け上細粒子分が減少したものと考えられる。

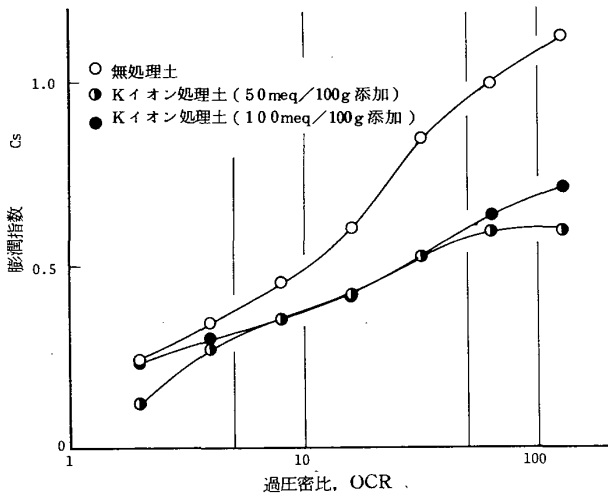


図-20 過圧密比と膨潤指数の関係

膨潤特性に及ぼす影響として図-20, 21の結果が得られている。図-20は圧密-除荷によるリバウンド特性であり、過圧密比(O.C.R.)と C_s の関係である。添加量による差はあまりないが、未処理土と比較してカリウム固定による膨潤抑制効果が見られ、処理土の C_s は未処理土の C_s に対し、O.C.R.が10付近で70~80%, 100付近では50~60%にまで減少する。図-21は各種塩濃度における自然膨潤量-時間曲線である。処理土は塩濃度

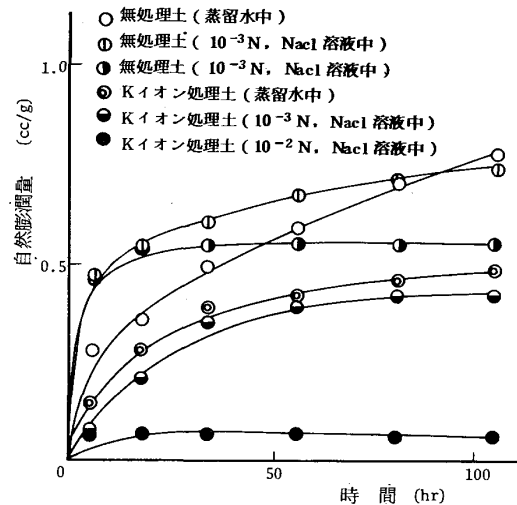


図-21 自然膨潤量の変化

のいかににかかわらず未処理土に比べ膨潤量が小さくなっている。塩濃度が高くなると膨潤量が小さくなるのは、層間や粒子間の反発力が土粒子表面近くのイオン濃度と間隙中の自由水のイオン濃度の差によって生じ、自由水のイオン濃度に基づく土粒子表面での電気2重層の増減によっているからである。すなわち、自由水のイオン濃度が増大すると電気2重層厚が減少し反発力の低下をきたす。処理土はKイオンの固定により、土粒子表面自体の活性を減少させているため、膨潤量の減少が一層大きくしているのが明白である。

以上述べたように、カリウム処理は地すべり粘土のような膨潤性粘土に対して有効な手法であるが、ここでは地すべり地の現場におけるKイオンの添加手法について議論していない。これは残された重要な課題の1つであり、現在、効果的手法の検討中である。

7. 結 論

地すべり地における斜面構成土の物理化学的特性を解明することによって、すべり面の予知とか対策手法として展開し得ることを明らかにしたが、得られた成果をまとめると次のとおりである。

- (1) 地すべり斜面構成土の物理化学的特性として、構成鉱物の検討の結果、界面活性の高いモンモリロナイトあるいは非晶質のアロフェンなどがすべり面付近に卓越して存在している。
- (2) これらのイオン交換特性では、高いC.E.C. 値を示すこと、このC.E.C. 値をモンモリロナイトあるいはアロフェンに起因するものとして逆算した活性粘土鉱物量はX線回析結果とよく一致する。
- (3) 当該斜面構成土の強熱減量が、モンモリロナイト含有量変化と高い相関をもつことから、すべり面予知のためのパラメーターとして強熱減量法を利用することが可能である。
- (4) 地すべり粘土の物理化学的対策法としてカリウム固定法が有効であり、モンモリロナイトのイライト化によって膨潤特性の減少をはかることができる。

《参 考 文 献》

- 1) 例えば、山田，渡，小橋；地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂，1971，P.P. 71～78
- 2) 小川正二，青山済道；地すべり地の土の土質試験法の問題点，土と基礎，26巻，6号1978，P.P. 51～56
- 3) 藤田寿雄；地すべり，設計における土質定数の考え方3，土と基礎，27巻，6号，1979，P.P. 71～78
- 4) Matsuo, S. et al; Physico-Chemical Properties of Tertiary Type Landslide, Proc. 6th Asian Regional Cont. on SMFE, vol 1, 1979, P.P. 229～232.
- 5) 松尾，嘉門，上村；分析機器による土の物理化学的性質の解明，第24回土質工学シンポジウム発表論文集，1979，P.P. 123～130
- 6) 松尾，富田；地すべり安定化のためのイオン交換工法の効果の確認について，地すべり学会第15回研究発表会，1976，P.P. 50～51
- 7) 松尾，富田；地すべりにおける土のイオン交換，第14回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，1977，P.P. 281～284
- 8) 例えば，粘土ハンドブック編集委員会編；粘土ハンドブック，技報堂，1967，P.P. 523～538，576～578
- 9) 松尾，その他；第3紀層地すべりの物理化学的考察；第15回自然災害科学総合シンポジウム論文集，1978，P.P. 139～140
- 10) 前出5)
- 11) 前出9)
- 12) 青山，その他；地すべり地の比書面積と液性限界及び自然含水比の相関性に関する一考察，第12回土質工学研究発表会講演集，1977，P.P. 117～120
- 13) 富田；モンモリロナイト系粘土の物理化学的および工学的特性に及ぼすカリウム固定の影響，福山大学工学部紀要第1号，1979 P.P. 61～70
- 14) 富田；斜面の物理化学的調査と対策工，日本産業科学研究所研究報告，第2号，1977 P.P. 22～31
- 15) 松尾，嘉門，大石；膨潤性粘土の物性と物理化学的対策について，第16回自然災害科学総合シンポジウム論文集，1979，P.P. 413～414
- 16) 松尾新一郎，富田武満；モンモリロナイト系粘土の物理化学的および工学的特性に及ぼすカリウム固定の影響，材料，26巻，290号，1977，P.P. 1041～1046